УДК 681.51.015.26:330.45

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ НА СКЛАДЕ

Е.Б. Грибанова, А.А. Мицель

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: maa@asu.tusur.ru

Приводится описание имитационных моделей управления материальными запасами. Предложены алгоритмы имитационных моделей, создана автоматизированная система «Запас» и выполнено моделирование. Преимуществом имитационного моделирования является возможность моделирования сложных систем в тех случаях, когда затруднено использование аналитических методов, необходимо учитывать стохастический характер протекающих в системе процессов, компоненты системы изменяются во времени и взаимодействуют.

Введение

Управление материальными запасами представляет собой совокупность мероприятий по обеспечению их рационального уровня в производственно-коммерческих системах. Неотъемлемой составной частью этих систем являются логистические системы [1].

Проблема оптимизации запасов возникает у многих предприятий и является весьма актуальной, поскольку излишки запаса замораживают денежные средства и снижают финансовую активность, а их недостаток вызывает перебои в работе фирмы.

В литературе [2–4] приводится большое количество математических моделей, которые рассма-

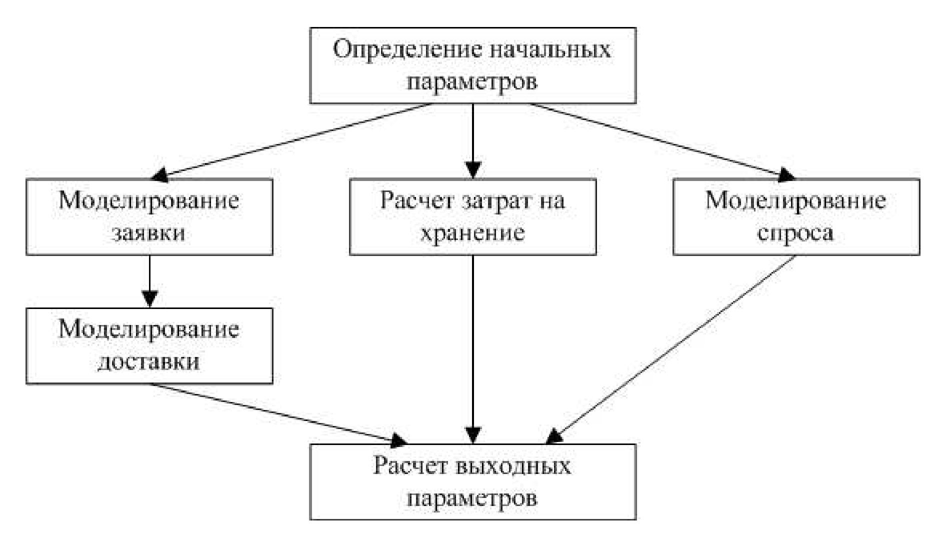


Рис. 1. *Блоки системы управления запасами*

триваются в рамках теории управления запасами. Среди них широкое распространение получили две модели: экономичного размера запаса EOQ (Q-модель) (Economic Order Quantity) и периодическая (P-модель) [5]. Существуют различные мнения о возможности их применения в условиях Российской экономики. Тем не менее, на их основе построено достаточно много модификаций, которые учитывают те или иные дополнительные условия.

Таким образом, для решения рассматриваемой задачи применяются такие методы как линейное программирование, стохастическая оптимизация, аппарат интервального анализа, динамическое программирование, теория массового обслуживания, теория адаптации. Для задач с априорной неопределенностью (в спросе, поставках, времени задержках и т. д.) рассматриваются такие подходы как теория множеств, а также подход, основанный на концепции «неизвестных, но ограниченных» (неизвестный спрос принадлежит заданному множеству).

С развитием вычислительной техники для решения задач управления запасами получил распространение метод имитационного моделирования. Появился ряд публикаций, посвященных использованию данного метода при исследовании и оптимизации складских систем. Однако в литературе недостаточно полно дано описание алгоритмов моделей. В данной статье предложены алгоритмы моделирования некоторых систем управления запасами, разработанные на основе модификации классического алгоритма.

Имитационные модели

Как свидетельствует мировая практика, метод имитационного моделирования может быть успешно использован для оценки вариантов структурного построения сложных человеко-машинных складских систем с целью достижения их оптимальных параметров и функционально-стоимостных характеристик в рамках действующих ограничений [6]. Данный метод опирается на учет возможных изменений в системе, возникающих в результате действия различных факторов, т. е. дает ответ на вопрос «что будет, если...».

В нашей работе [7] описана автоматизированная система «Запас», реализованная на основе объектно-ориентированного подхода. В программе «Запас» предусмотрено моделирование каждого блока (объекта) с помощью выбранных методов (рис. 1). Это позволяет проводить имитационное моделирование различных систем управления запасами, путем комбинирования моделей. Ниже будут рассмотрены модели, которые были включены в программу.

Среди имитационных моделей классической является Q-модель, алгоритм которой приводится в [8, 9]. По правилам данной модели очередной заказ на поставку осуществляется в момент, когда величина запаса снизилась до уровня $S_{\min}$ (точка заказа). Существует также P-модель, согласно которой размещение заказа осуществляется через заранее определенный период времени. Алгоритм этой модели был построен на базе стандартного путем внесения следующих изменений (рис. 2). В этом алгоритме уже не используется признак подачи заявок, и возможна ситуация, когда подача заявки будет осуществлена прежде, чем будет доставлена предыдущая партия. Поэтому для хранения значения объема партии используется не переменная, а массив.

Спрос на товар в системах управления запасами может быть:

- детерминированным или стохастическим;
- непрерывно распределенным или дискретным.

Время доставки также может быть случайным или детерминированным (в том числе равным нулю).

Моделирование случайных величин в программе происходит согласно алгоритмам, представленным в [9]. Входные данные (спрос, время доставки) могут иметь нормальный, показательный, равномерный или дискретный закон распределения.

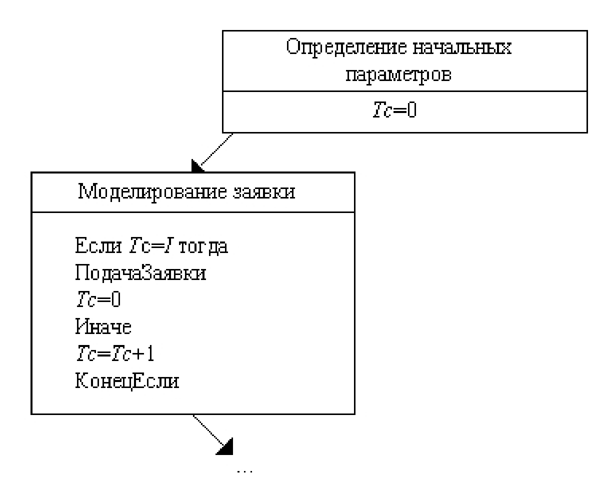


Рис. 2. *Алгоритм моделирования заявки для систем с периодической стратегией. Tc – счетчик, I – интервал подачи заявок*

При возникновении дефицита неудовлетворенный спрос может не учитываться в последующие периоды (считается, что покупатели приняли решение о покупке товара у других фирм). Эта схема обычно используется в классических моделях. В противном случае величина спроса накапливается. Т. е. покупатели получат свой товар, как только он поступит на склад. В двух этих случаях уровень запаса при моделировании обнуляется в случае его отрицательного значения. Однако во втором варианте прежде, чем осуществить эту операцию нужно выполнить ряд действий. На рис. 3 приведена модификация стандартного алгоритма для моделирования отложенного спроса.

На основе описанных в [1] математических моделей EBQ (Economic Batch Quantity) и EPQ (Economic Production Quantity), были созданы имитационные модели и алгоритмы. Особенностью этих моделей является то, что доставка партий осуществляется не сразу, а в течение определенного промежутка времени. Отличием модели EBQ от EPQ является то, что в период поставки товара происходит только накопление материального запаса, без его потребления. Приведем изменения в стандартном алгоритме моделирования (рис. 4).

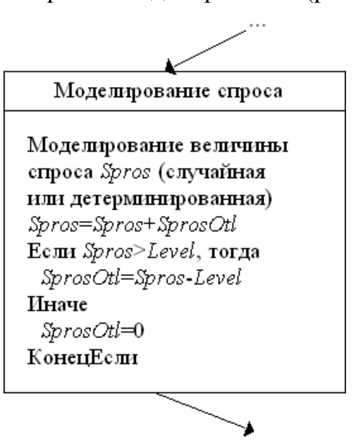


Рис. 3. *Алгоритм моделирования отложенного спроса. Spros – величина спроса, SprosOtl – отложенный спрос, Level – текущий уровень запаса*

Также в программе «Запас» объем партии может быть случайным, равен спросу за предыдущий период, и рассчитываться исходя из максимального значения уровня запаса [10].

Ручной режим работы программы «Запас» позволяет проводить моделирование динамических систем. В этом случае входные параметры модели изменяются во времени. Например, величина спроса может изменяться в зависимости от дней недели.

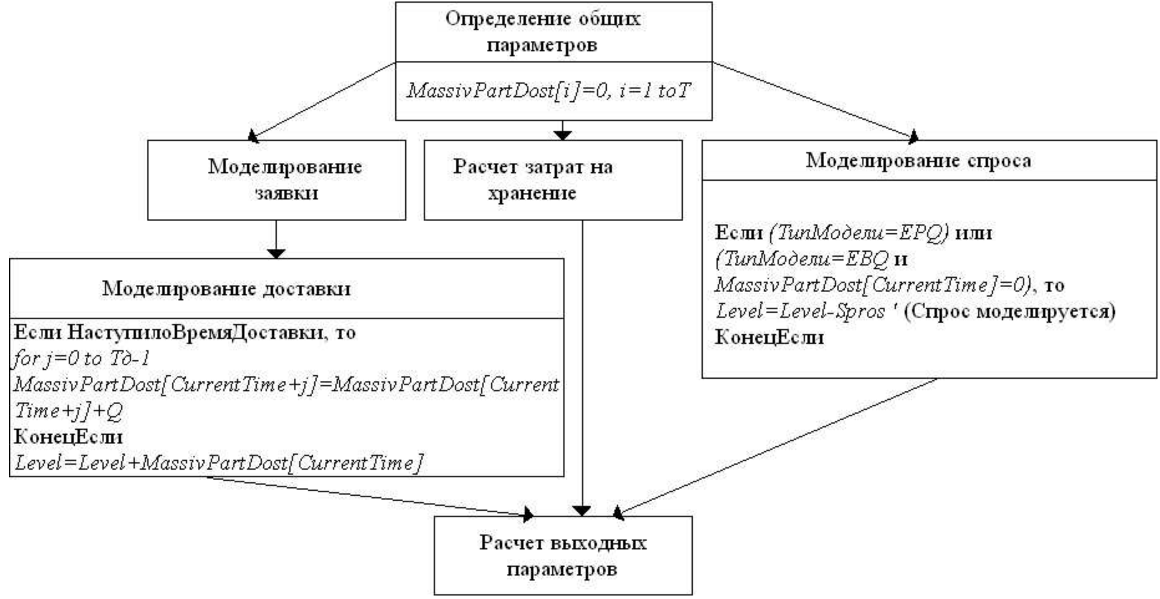


Рис. 4. *Алгоритм имитационного моделирования доставки и спроса в системах, функционирующих по схеме EBQ и EPQ. CurrentTime – текущее модельное время; T – период моделирования; $T_д$ – время, в течение которого доставляется товар на склад; Q – объем партии товара; MassivPartDost – массив, содержащий значение доставляемой партии товара для каждого момента времени*

Рассмотрим теперь способы расчета издержек в системах управления запасами. Функция затрат модели как правило включает три вида издержек: хранения, размещения заказа, штрафа за дефицит, которые могут зависеть от объема и/или быть постоянными, а также не учитываться при моделировании. Также с помощью программы «Запас» можно проводить моделирование систем, в которых учитываются скидки на заказываемый товар при объеме партии больше заданного.

Можно сделать вывод, что поскольку каждое предприятие имеет свои особенности в управлении денежными потоками, организации производства, постановке задачи моделирования, то функция затрат будет меняться. Например, в [11] издержки на содержание запаса включают расход на связанный капитал, рассчитываемый как произведение цены товара на ставку дисконтирования. В [12] приводится имитационная модель, входные данные для которой берутся из первичной бухгалтерской отчетности, а суммарные годовые затраты включают потери маржинальной прибыли и затраты, вызванные омертвлением капитала. Кроме того, могут быть использованы показатели: уровень обслуживания покупателей, выполнение плана реализации, оценка работы поставщиков (своевременность доставки), сокращение излишних запасов, рентабельность активов и т. д.

Пример имитационной модели

Для примера рассмотрим модель EBQ со следующими правилами:

- спрос является дискретной случайной величиной с заданным законом распределения;
- время поставки – непрерывная случайная величина с нормальным законом распределения;
- поставка партии товара осуществляется в течение определенного промежутка времени;
- заявка на поставку подается периодически.

График уровня запаса представлен на рис. 5.

Зададим исходные данные модели:

- начальный уровень запаса, F_{level}=1000 шт.;
- штраф за дефицит единицы товара, P_s=0 д.е. (денежных едениц);
- цена хранения единицы товара, h=3 д.е.;
- среднее время поставки партии товара на склад, M_t=2 дня;
- среднеквадратическое отклонение времени поставки партии товара, σ_t=1 день;
- стоимость поставки единицы товара, c=1 д.е.;
- затраты на доставку, не зависимые от объема, K=10 д.е.;
- интервал подачи заявок, I=5 дн.;
- период моделирования склада, T=20 дн.;
- число случайных реализаций, N=50;
- средний ежедневный спрос, M_s=100 шт.;

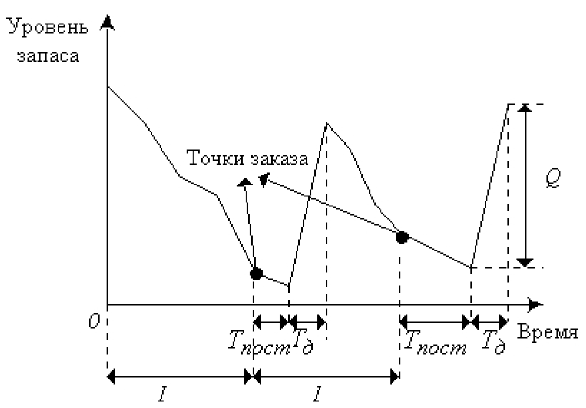


Рис. 5. *Движение уровня запаса. $T_{пост}$ – время поставки товара на склад*

- среднеквадратическое отклонение ежедневного спроса, σ=10 шт.;
- доставка товара осуществляется с интенсивностью 200 шт. в день.

Закон распределения спроса: при спросе 90; 100; 110 и 120 шт. в день вероятность этого спроса составит соответственно 0,2; 0,4; 0,1 и 0,3.

В качестве показателя эффективности примем средние затраты.

Общие затраты рассчитываются по формуле

$$L_{общ} = L_{зак} + L_{хр},$$

где $L_{зак}$ – затраты на доставку; $L_{хр}$ – затраты на хранение.

Затраты за доставку каждой партии равны

$$L_{закj} = K + c \cdot Q,$$

где $L_{закj}$ – затраты на доставку j-ой партии.

Затраты на хранение товара рассчитываются следующим образом:

$$L_{хрi} = level \cdot h,$$

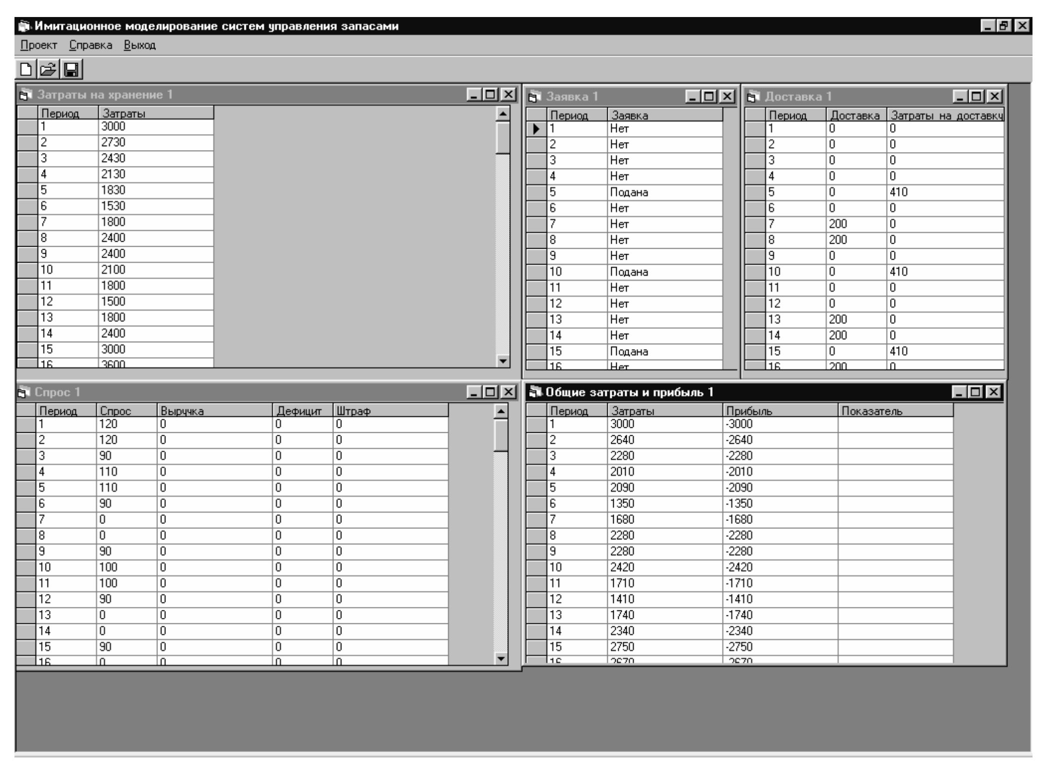
где $L_{хрi}$ – затраты на хранение товара в i-ом периоде; h – стоимость хранения единицы товара.

Результаты моделирования приведены в таблице, статистические данные (для случая, когда объем партии 400 шт. доставляется в течение двух дней) представлены на рис. 6.

Таблица. *Результаты моделирования (модель EBQ)*

Объем партии, шт.	Период доставки, дн.	Средние затраты, д.е.		
		на хранение	на доставку	общие
200	1	24921	840	25761
400	2	47928	1640	49568
600	3	61371	2440	63811
800	4	78165	3240	81405
1000	5	91728	4040	95768

Предполагая, что нужно определить оптимальный объем партии товара (если известна интенсивность доставки), при котором средние общие затраты минимальны, проанализируем результаты. Можно сделать вывод, что при уменьшении объема



Период	Затраты
1	3000
2	2730
3	2430
4	2130
5	1830
6	1530
7	1800
8	2400
9	2400
10	2100
11	1800
12	1500
13	1800
14	2400
15	3000
16	3600

Период	Заявка
1	Нет
2	Нет
3	Нет
4	Нет
5	Подана
6	Нет
7	Нет
8	Нет
9	Нет
10	Подана
11	Нет
12	Нет
13	Нет
14	Нет
15	Подана
16	Нет

Период	Доставка	Затраты на доставку
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	410
6	0	0
7	200	0
8	200	0
9	0	0
10	0	410
11	0	0
12	0	0
13	200	0
14	200	0
15	0	410
16	200	0

Период	Спрос	Выручка	Дефицит	Штраф
1	120	0	0	0
2	120	0	0	0
3	90	0	0	0
4	110	0	0	0
5	110	0	0	0
6	90	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	90	0	0	0
10	100	0	0	0
11	100	0	0	0
12	90	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	90	0	0	0
16	0	0	0	0

Период	Затраты	Прибыль	Показатель
1	3000	-3000	
2	2640	-2640	
3	2280	-2280	
4	2010	-2010	
5	2090	-2090	
6	1350	-1350	
7	1680	-1680	
8	2280	-2280	
9	2280	-2280	
10	2420	-2420	
11	1710	-1710	
12	1410	-1410	
13	1740	-1740	
14	2340	-2340	
15	2750	-2750	
16	2670	-2670	

***Рис. 6**. Статистические данные при объеме партии 400 шт.*

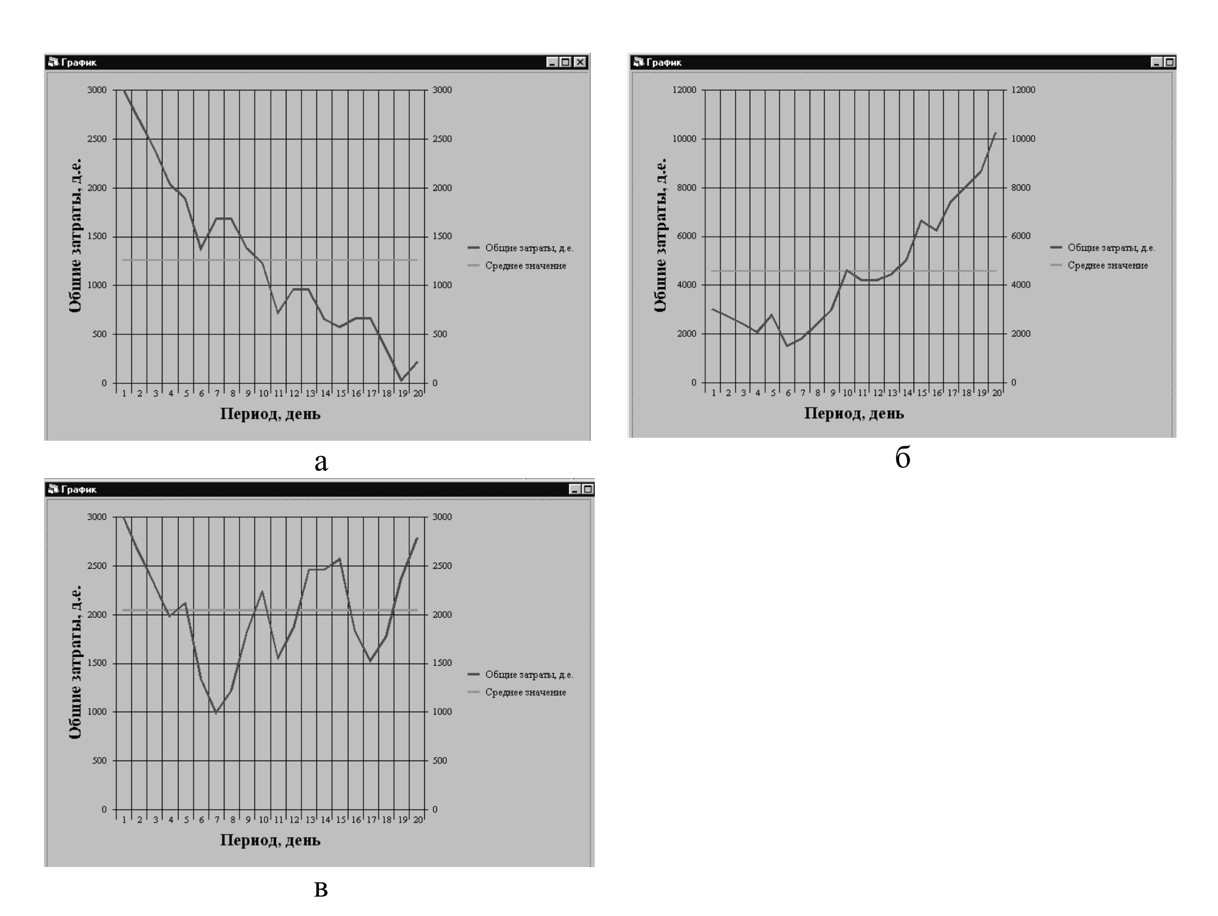


***Рис. 7.** Динамика общих затрат при объеме партии: а) 200; б) 1000; в) 400 шт.*

партии снижаются затраты склада. Это заключение очевидно, поскольку с уменьшением объема партии уменьшаются затраты на доставку, а также снижаются издержки хранения в связи с уменьшением уровня запаса. Таким образом, при нулевом объеме партии затраты будут минимальны и включать только издержки хранения, пока в результате спроса запас не будет равен нулю. Однако в этом случае (при уменьшении объема партии) происходит снижение уровня обслуживания клиентов, возникает дефицит товара, а в данной модели не был учтен штраф за отсутствие единицы товара на складе. На рис. 7 приведена динамика общих затрат, которые уменьшаются при объеме партии, равном 200 шт. (т. к. спрос превышает доставку и происходит снижение уровня запаса), увеличиваются, если объем партии равен 1000 шт. (а также 600 и 800 шт.) (доставка товара превышает спрос и происходит затоваривание склада) и колеблются в пределах определенных значений для объема 400 шт. (спрос и доставка «компенсируют» друг друга).

Спрос 1

Период	Спрос	Выручка	Дефицит	Штраф
7	0	0	0	0
8	120	0	0	0
9	100	0	0	0
10	90	0	0	0
11	0	0	0	0
12	100	0	0	0
13	120	0	0	0
14	120	0	0	0
15	100	0	20	0
16	120	0	120	0
17	0	0	0	0
18	100	0	0	0
19	120	0	20	0
20	100	0	100	0
	1860	0	260	0

Число случайных реализаций 10

Показать данные реализации

Рис. 8. *Статистические данные спроса*

На рис. 8 приведено окно, содержащее статистические данные спроса (если поставка осуществляется в течение одного дня и объем партии при этом равен 200 шт.), в которых можно увидеть наличие дефицита товара, в то время как для значений объема партии на рис. 6 дефицит отсутствует.

Из рассмотренных выше вариантов логично выбрать тот, когда спрос и доставка примерно одинаковы (при объеме партии 400 шт., доставляемой в течение двух дней), поскольку в этом случае не будет затоваривания склада и доставка удовлетворяет спрос, т. е. снижается вероятность дефицита товара.

Кроме того, для определения оптимального объема заказываемой партии товара нужно решить, допустимо ли наличие дефицита в системе управления запасами. Если наличие дефицита не допустимо, то выбирается минимальный объем партии, при котором дефицит равен нулю. Иначе, нужно решить, в каком количестве возможен дефицит, и выбрать минимальный объем партии, при котором дефицит не превышает допустимого значения.

Заключение

Имитационное моделирование представляет собой эффективный, а иногда и единственный способ исследования сложных систем. В статье предложены алгоритмы имитационных моделей управления запасами, разработанные путем модификации классического алгоритма. В имитационных моделях отсутствуют ограничения на вид зависимостей между параметрами, состояние внешней и внутренней среды. Например, аналитическая модель EBQ управления запасами [1] предполагает мгновенную доставку, детерминированный спрос, равенство нулю начального уровня запаса. Имитационная же модель позволяет осуществлять любую стратегию пополнения и контроля запаса, учитывать стохастическую природу спроса и времени доставки, рассматривать различные схемы поведения покупателей при дефиците и т. д.

В качестве примера приведена имитационная модель EBQ с периодической стратегией подачи заявок, случайным дискретным спросом и случайным временем доставки, распределенным по нормальному закону. Рассмотрено решение оптимизационной задачи. В результате проведения серии вычислительных экспериментов найден оптимальный объем заказываемой партии товара исходя из требования отсутствия дефицита и предотвращения затоваривания склада. Было установлено, что при меньшем объеме партии снижается уровень обслуживания, а при большем – уровень доставки превышает потребление, вследствие чего возрастает количество запаса товара на складе, а, следовательно, издержки заказа и хранения.

Моделирование выполнено с помощью программы «Запас».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев М.Н., Долгов А.П., Уваров С.А. Логистика. – М.: Гардарики, 2006. – 463 с.
2. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
3. Таха Х.А. Введение в исследование операций. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
4. Джеймс С., Дональд Ф., Дэниэл Л. Современная логистика. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 624 с.
5. Терешкина Т. Логистический подход к управлению запасами // Логистика. – 2002. – № 2. – С. 21–24.
6. Принципы имитационного моделирования складов // Логистика. – 2003. – № 4. – С. 33.
7. Бойченко И.В., Грибанова Е.Б., Мицель А.А. Автоматизированная система имитационного моделирования управления запасами // Информационные системы: Тр. постоянно действующего научно-технического семинара / Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, Отд. проблем информатизации ТНЦ СО РАН; под ред. А.М. Корикова. – Вып. 4. – Томск, 2006. – С. 118–125.

8. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование экономических объектов: Лабораторный практикум. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 160 с.
9. Варфоломеев В.И. Алгоритмическое моделирование элементов экономических систем. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 203 с.
10. Глазков Я. Планирование материальных запасов // Логинфо. – 2004. – № 5–6. – С. 50–53.
11. Федоров С.С. Управление запасами: расчет по формуле Вильсона // Логинфо. – 2003. – № 2. – С. 60–63.
12. Быков А. Оптимизация запасов на основе имитационного моделирования // Логистика. – 2004. – № 1. – С. 19–21.

УДК 336.762.3:681.324